

# 52. IWK

Internationales Wissenschaftliches Kolloquium  
International Scientific Colloquium



**PROCEEDINGS**

| 10 - 13 September 2007

## **FACULTY OF COMPUTER SCIENCE AND AUTOMATION**



## **COMPUTER SCIENCE MEETS AUTOMATION**

### **VOLUME II**

**Session 6 - Environmental Systems: Management and Optimisation**

**Session 7 - New Methods and Technologies for Medicine and  
Biology**

**Session 8 - Embedded System Design and Application**

**Session 9 - Image Processing, Image Analysis and Computer Vision**

**Session 10 - Mobile Communications**

**Session 11 - Education in Computer Science and Automation**

## **Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

**ISBN 978-3-939473-17-6**

### **Impressum**

- Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
- Redaktion: Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten  
Kongressorganisation  
Andrea Schneider  
Tel.: +49 3677 69-2520  
Fax: +49 3677 69-1743  
e-mail: [kongressorganisation@tu-ilmenau.de](mailto:kongressorganisation@tu-ilmenau.de)
- Redaktionsschluss: Juli 2007
- Verlag:   
Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek  
Universitätsverlag Ilmenau  
Postfach 10 05 65  
98684 Ilmenau  
[www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag](http://www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag)
- Herstellung und Auslieferung: Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG  
Am Hawerkamp 31  
48155 Münster  
[www.mv-verlag.de](http://www.mv-verlag.de)
- Layout Cover: [www.cey-x.de](http://www.cey-x.de)
- Bezugsmöglichkeiten: Universitätsbibliothek der TU Ilmenau  
Tel.: +49 3677 69-4615  
Fax: +49 3677 69-4602

**© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2007**

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung der Redaktion strafbar.

## Preface

Dear Participants,

Confronted with the ever-increasing complexity of technical processes and the growing demands on their efficiency, security and flexibility, the scientific world needs to establish new methods of engineering design and new methods of systems operation. The factors likely to affect the design of the smart systems of the future will doubtless include the following:

- As computational costs decrease, it will be possible to apply more complex algorithms, even in real time. These algorithms will take into account system nonlinearities or provide online optimisation of the system's performance.
- New fields of application will be addressed. Interest is now being expressed, beyond that in "classical" technical systems and processes, in environmental systems or medical and bioengineering applications.
- The boundaries between software and hardware design are being eroded. New design methods will include co-design of software and hardware and even of sensor and actuator components.
- Automation will not only replace human operators but will assist, support and supervise humans so that their work is safe and even more effective.
- Networked systems or swarms will be crucial, requiring improvement of the communication within them and study of how their behaviour can be made globally consistent.
- The issues of security and safety, not only during the operation of systems but also in the course of their design, will continue to increase in importance.

The title "Computer Science meets Automation", borne by the 52<sup>nd</sup> International Scientific Colloquium (IWK) at the Technische Universität Ilmenau, Germany, expresses the desire of scientists and engineers to rise to these challenges, cooperating closely on innovative methods in the two disciplines of computer science and automation.

The IWK has a long tradition going back as far as 1953. In the years before 1989, a major function of the colloquium was to bring together scientists from both sides of the Iron Curtain. Naturally, bonds were also deepened between the countries from the East. Today, the objective of the colloquium is still to bring researchers together. They come from the eastern and western member states of the European Union, and, indeed, from all over the world. All who wish to share their ideas on the points where "Computer Science meets Automation" are addressed by this colloquium at the Technische Universität Ilmenau.

All the University's Faculties have joined forces to ensure that nothing is left out. Control engineering, information science, cybernetics, communication technology and systems engineering – for all of these and their applications (ranging from biological systems to heavy engineering), the issues are being covered.

Together with all the organizers I should like to thank you for your contributions to the conference, ensuring, as they do, a most interesting colloquium programme of an interdisciplinary nature.

I am looking forward to an inspiring colloquium. It promises to be a fine platform for you to present your research, to address new concepts and to meet colleagues in Ilmenau.



Professor Peter Scharff  
Rector, TU Ilmenau



Professor Christoph Ament  
Head of Organisation







# CONTENTS

	Page
<b>6 Environmental Systems: Management and Optimisation</b>	
T. Bernard, H. Linke, O. Krol A Concept for the long term Optimization of regional Water Supply Systems as a Module of a Decision Support System	3
S. Röhl, S. Hopfgarten, P. Li A groundwater model for the area Darkhan in Kharaa river Th. Bernard, H. Linke, O. Krol basin	11
A. Khatanbaatar Altantuul The need designing integrated urban water management in cities of Mongolia	17
T. Rauschenbach, T. Pfützenreuter, Z. Tong Model based water allocation decision support system for Beijing	23
T. Pfützenreuter, T. Rauschenbach Surface Water Modelling with the Simulation Library ILM-River	29
D. Karimanzira, M. Jacobi Modelling yearly residential water demand using neural networks	35
Th. Westerhoff, B. Scharaw Model based management of the drinking water supply system of city Darkhan in Mongolia	41
N. Buyankhishig, N. Batsukh Pumping well optimi ation in the Shivee-Ovoo coal mine Mongolia	47
S. Holzmüller-Laue, B. Göde, K. Rimane, N. Stoll Data Management for Automated Life Science Applications	51
N. B. Chang, A. Gonzalez A Decision Support System for Sensor Deployment in Water Distribution Systems for Improving the Infrastructure Safety	57
P. Hamolka, I. Vrublevsky, V. Parkoun, V. Sokol New Film Temperature And Moisture Microsensors for Environmental Control Systems	63
N. Buyankhishig, M. Masumoto, M. Aley Parameter estimation of an unconfined aquifer of the Tuul River basin Mongolia	67

M. Jacobi, D. Karimanzira	73
Demand Forecasting of Water Usage based on Kalman Filtering	

## **7 New Methods and Technologies for Medicine and Biology**

J. Meier, R. Bock, L. G. Nyúl, G. Michelson	81
Eye Fundus Image Processing System for Automated Glaucoma Classification	
L. Hellrung, M. Trost	85
Automatic focus depending on an image processing algorithm for a non mydriatic fundus camera	
M. Hamsch, C. H. Igney, M. Vauhkonen	91
A Magnetic Induction Tomography System for Stroke Classification and Diagnosis	
T. Neumuth, A. Pretschner, O. Burgert	97
Surgical Workflow Monitoring with Generic Data Interfaces	
M. Pfaff, D. Woetzel, D. Driesch, S. Toepfer, R. Huber, D. Pohlers, D. Koczan, H.-J. Thiesen, R. Guthke, R. W. Kinne	103
Gene Expression Based Classification of Rheumatoid Arthritis and Osteoarthritis Patients using Fuzzy Cluster and Rule Based Method	
S. Toepfer, S. Zellmer, D. Driesch, D. Woetzel, R. Guthke, R. Gebhardt, M. Pfaff	107
A 2-Compartment Model of Glutamine and Ammonia Metabolism in Liver Tissue	
J. C. Ferreira, A. A. Fernandes, A. D. Santos	113
Modelling and Rapid Prototyping an Innovative Ankle-Foot Orthosis to Correct Children Gait Pathology	
H. T. Shandiz, E. Zahedi	119
Noninvasive Method in Diabetic Detection by Analyzing PPG Signals	
S. V. Drobot, I. S. Asayenok, E. N. Zacepin, T. F. Sergiyenko, A. I. Svirnovskiy	123
Effects of Mm-Wave Electromagnetic Radiation on Sensitivity of Human Lymphocytes to Ionizing Radiation and Chemical Agents in Vitro	

## **8 Embedded System Design and Application**

B. Däne	131
Modeling and Realization of DMA Based Serial Communication for a Multi Processor System	



M. Müller, A. Pacholik, W. Fengler Tool Support for Formal System Verification	137
A. Pretschner, J. Alder, Ch. Meissner A Contribution to the Design of Embedded Control Systems	143
R. Ubar, G. Jervan, J. Raik, M. Jenihhin, P. Ellervee Dependability Evaluation in Fault Tolerant Systems with High-Level Decision Diagrams	147
A. Jutmann On LFSR Polynomial Calculation for Test Time Reduction	153
M. Rosenberger, M. J. Schaub, S. C. N. Töpfer, G. Linß Investigation of Efficient Strain Measurement at Smallest Areas Applying the Time to Digital (TDC) Principle	159
 <b>9 Image Processing, Image Analysis and Computer Vision</b>	
J. Meyer, R. Espiritu, J. Earthman Virtual Bone Density Measurement for Dental Implants	167
F. Erfurth, W.-D. Schmidt, B. Nyuyki, A. Scheibe, P. Saluz, D. Faßler Spectral Imaging Technology for Microarray Scanners	173
T. Langner, D. Kollhoff Farbbasierte Druckbildinspektion an Rundkörpern	179
C. Lucht, F. Gaßmann, R. Jahn Inline-Fehlerdetektion auf freigeformten, texturierten Oberflächen im Produktionsprozess	185
H.-W. Lahmann, M. Stöckmann Optical Inspection of Cutting Tools by means of 2D- and 3D-Imaging Processing	191
A. Melitzki, G. Stanke, F. Weckend Bestimmung von Raumpositionen durch Kombination von 2D-Bildverarbeitung und Mehrfachlinienlasertriangulation - am Beispiel von PKW-Stabilisatoren	197
F. Boochs, Ch. Raab, R. Schütze, J. Traiser, H. Wirth 3D contour detection by means of a multi camera system	203

M. Brandner Vision-Based Surface Inspection of Aeronautic Parts using Active Stereo	209
H. Lettenbauer, D. Weiss X-ray image acquisition, processing and evaluation for CT-based dimensional metrology	215
K. Sickel, V. Daum, J. Hornegger Shortest Path Search with Constraints on Surface Models of In-the-ear Hearing Aids	221
S. Husung, G. Höhne, C. Weber Efficient Use of Stereoscopic Projection for the Interactive Visualisation of Technical Products and Processes	227
N. Schuster Measurement with subpixel-accuracy: Requirements and reality	233
P. Brückner, S. C. N. Töpfer, M. Correns, J. Schnee Position- and colour-accurate probing of edges in colour images with subpixel resolution	239
E. Sparrer, T. Machleidt, R. Nestler, K.-H. Franke, M. Niebelschütz Deconvolution of atomic force microscopy data in a special measurement mode – methods and practice	245
T. Machleidt, D. Kapusi, T. Langner, K.-H. Franke Application of nonlinear equalization for characterizing AFM tip shape	251
D. Kapusi, T. Machleidt, R. Jahn, K.-H. Franke Measuring large areas by white light interferometry at the nanopositioning and nanomeasuring machine (NPM)M)	257
R. Burdick, T. Lorenz, K. Bobey Characteristics of High Power LEDs and one example application in with-light-interferometry	263
T. Koch, K.-H. Franke Aspekte der strukturbasierten Fusion multimodaler Satellitendaten und der Segmentierung fusionierter Bilder	269
T. Riedel, C. Thiel, C. Schmallius A reliable and transferable classification approach towards operational land cover mapping combining optical and SAR data	275
B. Waske, V. Heinzl, M. Braun, G. Menz Classification of SAR and Multispectral Imagery using Support Vector Machines	281

V. Heinzl, J. Franke, G. Menz Assessment of differences in multisensoral remote sensing imageries caused by discrepancies in the relative spectral response functions	287
I. Aksit, K. Bunger, A. Fassbender, D. Frekers, Chr. Gotze, J. Kemenas An ultra-fast on-line microscopic optical quality assurance concept for small structures in an environment of man production	293
D. Hofmann, G. Linss Application of Innovative Image Sensors for Quality Control	297
A. Jablonski, K. Kohrt, M. Bohm Automatic quality grading of raw leather hides	303
M. Rosenberger, M. Schellhorn, P. Bruckner, G. Lin Uncompressed digital image data transfer for measurement techniques using a two wire signal line	309
R. Blaschek, B. Meffert Feature point matching for stereo image processing using nonlinear filters	315
A. Mitsiukhin, V. Pachynin, E. Petrovskaya Hartley Discrete Transform Image Coding	321
S. Hellbach, B. Lau, J. P. Eggert, E. Korner, H.-M. Gro Multi-Cue Motion Segmentation	327
R. R. Alavi, K. Brie Image Processing Algorithms for Using a Moon Camera as Secondary Sensor for a Satellite Attitude Control System	333
S. Bauer, T. Doring, F. Meysel, R. Reulke Traffic Surveillance using Video Image Detection Systems	341
M. A-Megeed Salem, B. Meffert Wavelet-based Image Segmentation for Traffic Monitoring Systems	347
E. Einhorn, C. Schroter, H.-J. Bohme, H.-M. Gro A Hybrid Kalman Filter Based Algorithm for Real-time Visual Obstacle Detection	353
U. Knauer, R. Stein, B. Meffert Detection of opened honeybee brood cells at an early stage	359

## 10 Mobile Communications

K. Ghanem, N. Zamin-Khan, M. A. A. Kalil, A. Mitschele-Thiel Dynamic Reconfiguration for Distributing the Traffic Load in the Mobile Networks	367
N. Z.-Khan, M. A. A. Kalil, K. Ghanem, A. Mitschele-Thiel Generic Autonomic Architecture for Self-Management in Future Heterogeneous Networks	373
N. Z.-Khan, K. Ghanem, St. Leistritz, F. Liers, M. A. A. Kalil, H. Kärst, R. Böringer Network Management of Future Access Networks	379
St. Schmidt, H. Kärst, A. Mitschele-Thiel Towards cost-effective Area-wide Wi-Fi Provisioning	385
A. Yousef, M. A. A. Kalil A New Algorithm for an Efficient Stateful Address Autoconfiguration Protocol in Ad hoc Networks	391
M. A. A. Kalil, N. Zamin-Khan, H. Al-Mahdi, A. Mitschele-Thiel Evaluation and Improvement of Queueing Management Schemes in Multihop Ad hoc Networks	397
M. Ritzmann Scientific visualisation on mobile devices with limited resources	403
R. Brecht, A. Kraus, H. Krömker Entwicklung von Produktionsrichtlinien von Sport-Live-Berichterstattung für Mobile TV Übertragungen	409
N. A. Tam RCS-M: A Rate Control Scheme to Transport Multimedia Traffic over Satellite Links	421
Ch. Kellner, A. Mitschele-Thiel, A. Diab Performance Evaluation of MIFA, HMIP and HAWAII	427
A. Diab, A. Mitschele-Thiel MIFAv6: A Fast and Smooth Mobility Protocol for IPv6	433
A. Diab, A. Mitschele-Thiel CAMP: A New Tool to Analyse Mobility Management Protocols	439

## **11 Education in Computer Science and Automation**

S. Bräunig, H.-U. Seidel Learning Signal and Pattern Recognition with Virtual Instruments	447
St. Lambeck Use of Rapid-Control-Prototyping Methods for the control of a nonlinear MIMO-System	453
R. Pittschellis Automatisierungstechnische Ausbildung an Gymnasien	459
A. Diab, H.-D. Wuttke, K. Henke, A. Mitschele-Thiel, M. Ruhwedel MAeLE: A Metadata-Driven Adaptive e-Learning Environment	465
V. Zöppig, O. Radler, M. Beier, T. Ströhla Modular smart systems for motion control teaching	471
N. Pranke, K. Froitzheim The Media Internet Streaming Toolbox	477
A. Fleischer, R. Andreev, Y. Pavlov, V. Terzieva An Approach to Personalized Learning: A Technique of Estimation of Learners Preferences	485
N. Tsyrelchuk, E. Ruchaevskaia Innovational pedagogical technologies and the Information educational medium in the training of the specialists	491
Ch. Noack, S. Schwintek, Ch. Ament Design of a modular mechanical demonstration system for control engineering lectures	497



C. Lucht / F. Gaßmann / R. Jahn

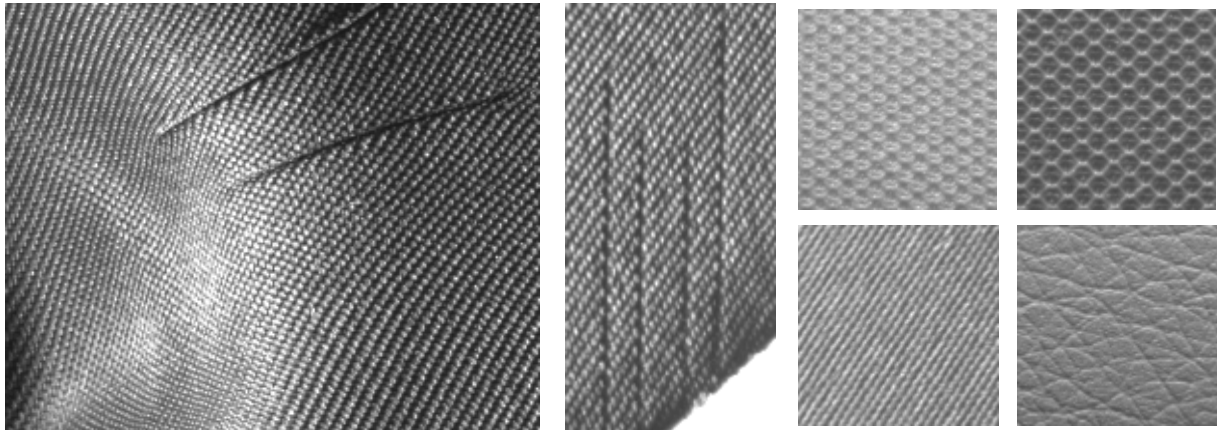
## **Inline-Fehlerdetektion auf freigeformten texturierten Oberflächen im Produktionsprozess**

### **Einleitung**

Die Gewährleistung eines hohen Qualitätsstandards bei gleichzeitiger Reduzierung der Produktionskosten erfordert die Ausweitung der maschinellen Qualitätskontrolle mit immer anspruchsvolleren Anforderungsprofilen. Zu diesen komplexen Prüfaufgaben ist die Inline-Inspektion von Bauteilen mit freigeformten, texturierten Oberflächen zu zählen. Dabei sind unter den im Fertigungsprozess bestehenden Randbedingungen sowohl die Maßhaltigkeit der 3D-Formgebung als auch die Fehlerfreiheit der Oberfläche mittels industrieller Bildverarbeitung zu kontrollieren. Insbesondere die Inspektion der Oberfläche, welche bereits im unverformten (planen) Zustand eine hohe Herausforderung darstellt, bedarf der Anwendung leistungsfähiger Bildverarbeitungswerkzeuge. Nachfolgend sollen am Beispiel von Bauteilen für die Kfz-Innenverkleidung ein ausgewählter Lösungsansatz mit Konzeption der Bildanalyse und Merkmalauswahl vorgestellt werden. Das ZBS verfügt über ein umfangreiches, in langjähriger Projektarbeit angeeignetes Know-how auf den Gebieten der Texturanalyse und 3D-Datenverarbeitung ([1]...[4]). Darauf aufbauend wird aktuell ein AiF-gefördertes Kooperationsprojekt zur genannten Prüfaufgabe bearbeitet. Dieser Beitrag stellt ausgewählte Zwischenergebnisse vor.

### **Problemstellung**

Zur Verkleidung von Kfz-Innenräumen werden aus Laminaten mit texturierter Oberflächenschicht vielfältige 3D-geformte Bauteile gepresst, zugeschnitten und für die Formhaltigkeit mit Kunststoff hinterspritzt. Die Oberflächen bestehen aus verschiedenartigen Materialien (z.B. textile Flächengebilde, Leder) mit typischer, aber vielgestaltiger Strukturierung und Farbgebung. Während der Fertigung können verschiedene Fehler auftreten, welche inline erkannt werden müssen. Hierzu zählen neben Abweichungen von der 3D-Form vor allem Oberflächendefekte wie Falten, Blasen, Fadenauslöser, Durchspritzungen und Verzüge. Dabei reichen die Fehlergrößen von der Mikrostruktur des Flächengebildes (z.B. Fadenfehler) bis zu großflächigen Oberflächenveränderungen.



**Abbildung 1** Typische Texturen und Oberflächenfehler; links: Textureindruck an Ausformung mit gleichzeitiger Faltenbildung als Fehler, Mitte: Fadenauslöser an einer Schnittkante, rechts: weitere Texturbeispiele (3x Textil, 1x Leder-Imitat)

Die Prüfung soll in separaten, fertigungsintegrierten Stationen erfolgen, was aufgrund des bestehenden Durchsatzes Prüfzeiten von < 20 s pro Bauteil erfordert. Die bedarfsgerechte Fertigung führt zu häufigen Wechseln der Bauteilform, des Materials und der Farbgebung, womit entsprechende Umrüstungen des Prüfsystems notwendig werden.

### **Lösungsansatz**

Die Prüfaufgabe erfordert den Einsatz der Texturanalyse. Dabei kann prinzipiell auf leistungsfähige, sich bei der Inspektion ebener, meist homogen texturierter Oberflächen bewährte Algorithmen zurückgegriffen werden. Da aber das enge Zeitregime der Fertigung nur wenige Bildaufnahmen zur Erfassung der komplexen Objektoberfläche erlaubt, müssen großflächige Abbildungen vorgenommen werden. Die resultierenden neigungsbedingten Verzerrungen führen dann zu einem inhomogenen Textureindruck unabhängig von der realen Oberflächenstruktur. Zusätzlich bewirken unterschiedliche Beleuchtungswinkel bei verschiedenen Flächenneigungen weitere Texturinhomogenität. Generell wird die Detektierbarkeit von Oberflächenfehlern hierdurch stark beeinträchtigt.

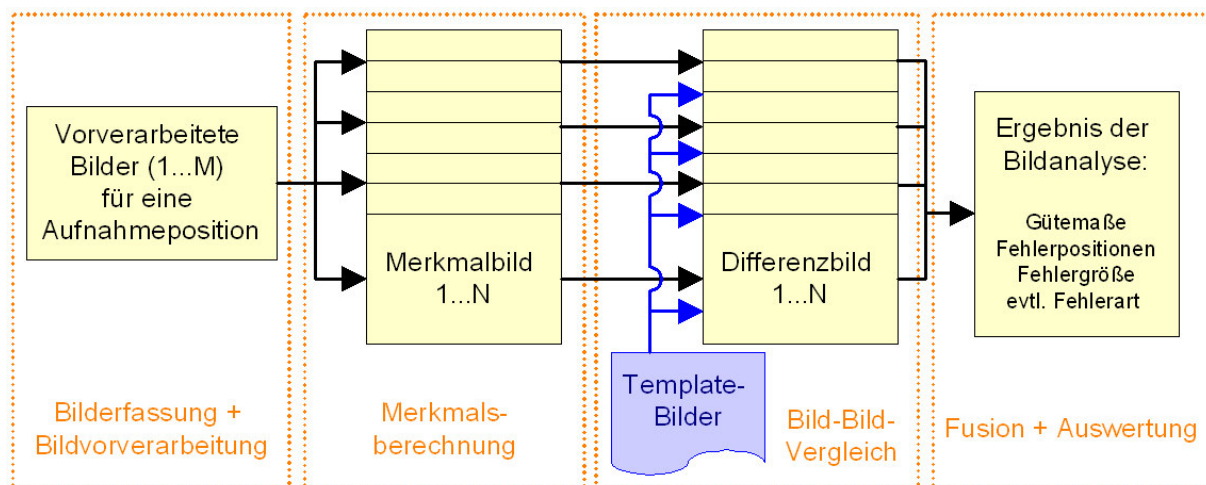
Einen möglichen Ansatz, diesen erschwerten Analysebedingungen zu begegnen, stellt der in der industriellen Bildverarbeitung vielfältig eingesetzte Bild-Bild-Vergleich dar. Dabei wird davon ausgegangen, dass Bilder von gleichen Oberflächenregionen bei identischen Abbildungs- und Beleuchtungsbedingungen zwischen einem fehlerfreien Prüfling und einem Gutmuster (Golden Template) den örtlich gleichen Textureindruck aufweisen. Im Fehlerfall sind Oberflächendefekte dann als möglichst deutliche Abweichungen detektierbar. Bei texturierten Oberflächen lässt sich dieses Verfahren jedoch nicht direkt auf den erfassten Bilddaten (Grauwerte) anwenden. Sinnvolle Ergebnisse sind nur bei einem Vergleich von Merkmalbildern mit bestimmten Invarianzeigenschaften (z.B. Phaseninvarianz bei periodischen Texturen, Invarianz bzgl. tolerierbarer Mikrostrukturab-



weichungen) möglich. Eine wesentliche Schwierigkeit dieses Ansatzes besteht offensichtlich in der Auffindung von Texturmerkmalen bzw. Merkmalsätzen, welche die jeweils betrachteten, erwartungsgemäß inhomogenen Texturen gut beschreiben und gegen mögliche Oberflächenfehler abgrenzen. Nachfolgend soll dieser templatebasierte Lösungsansatz detaillierter betrachtet werden.

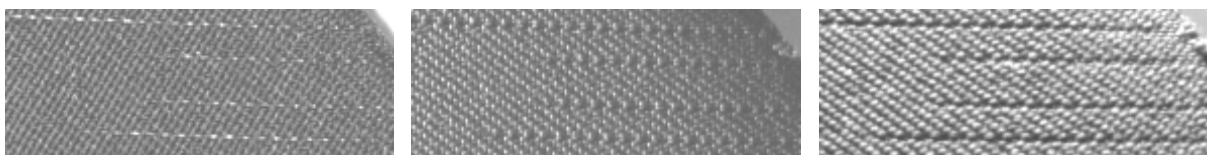
### Konzeption der Bildanalyse

Das Grundkonzept der Kannphase lässt sich gemäß Abbildung 2 in vier Blöcke gliedern.



**Abbildung 2 Grundkonzept für die Kannphase der Bildanalyse**

Die Bilderfassung der Objektoberfläche mit wenigen Bildaufnahmen bei maximaler Struktur- und Fehlerinformation kann aufgrund der 3D-Form nur gelingen, wenn das Objekt und/oder die Aufnahmeanordnung relativ zueinander in Optimallagen verkippt werden. Wegen des Beleuchtungseinflusses auf die Fehlerausprägung (siehe Abbildung 3) muss dabei ein besonderes Augenmerk auf die Beleuchtungsgeometrie gelegt werden.



**Abbildung 3 Textur- und Fehlerausprägung bei unterschiedlich gerichteter Beleuchtung**

Den gestellten Anforderungen wird eine Bildaufnahmeeinrichtung gerecht, welche aus einer adaptierbaren Kamera-Beleuchtungs-Anordnung und einer Positioniereinrichtung für die Prüfobjekte besteht. Die Positioniereinrichtung, vorzugsweise ein Roboterarm, präsentiert die Bauteiloberfläche dem Bildaufnahmesystem in vorbestimmten Lagen. Das Bildaufnahmesystem besteht aus ein oder mehreren Matrixkameras sowie zugehörigen Strahlern für eine flächige Ausleuchtung. Für mehrer Aufnahmen in einer Lage werden zur Beleuchtungsvariation Strahler mit blitzbaren Lichtquellen (z.B. LED) verwendet. Der Bilderfassung folgt eine Bildvorverarbeitung, welche Arbeitsschritte wie Shadingkor-

rektur, Histogrammtransformationen und Vorfilterungen zur Verbesserung der Merkmalgewinnung enthält. Des Weiteren sind geschwindigkeits- und speicheroptimierende Maßnahmen wie die pyramidale Zerlegung der Quellbilder und die Maskierung von relevanten Oberflächenregionen hinzuzuzählen.

Aus den vorverarbeiteten Bildern werden im nächsten Arbeitsschritt mehrere Merkmalbilder berechnet. Die in einer Belehrungsphase durchgeführte Merkmalauswahl hängt wesentlich von der Oberflächentextur, den zu erwartenden Fehlern und dem Zeitrahmen für die Inspektion ab (siehe nachfolgenden Abschnitt). Für den Bild-Bild-Vergleich sollen Oberflächenfehler als Abweichungen zur fehlerfreien Textur kenntlich gemacht werden, gleichzeitig sollen tolerierbare Texturunterschiede keine Betonung erfahren.

Der Bild-Bild-Vergleich berechnet Differenzmaße zwischen den Merkmalbildern des Prüfobjekts und den als Golden Template abgelegten Merkmalbildern von Gutmustern. Um zu tolerierende Texturschwankungen besser zu berücksichtigen wird ein Bild-Bild-Vergleich mit geringer Ortsunschärfe [3] durchgeführt.

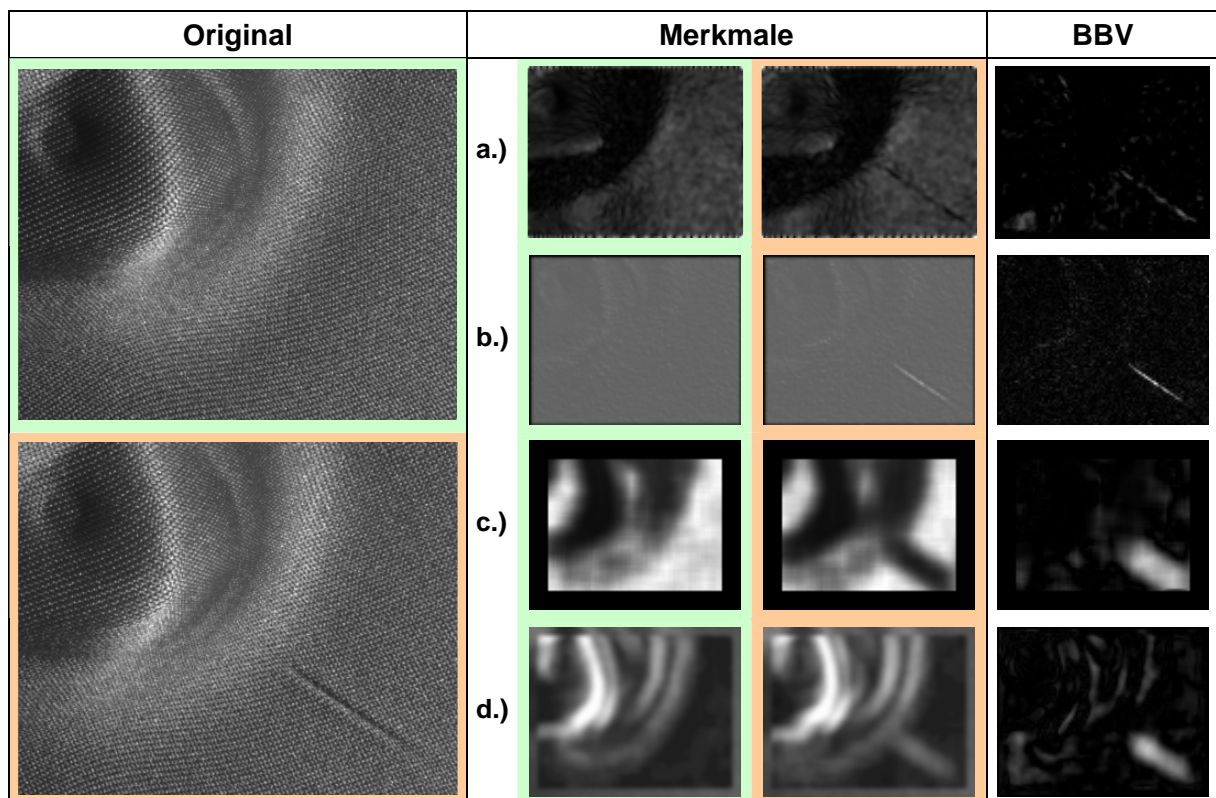
Im letzten Schritt der Bildanalyse werden die Differenzbilder der einzelnen Merkmalbilder mittels intelligenter Schwellwertverfahren ausgewertet und die Ergebnisse auf vorzugsweise höherem Abstraktionsniveau fusioniert. In Abhängigkeit von der Merkmalauflösung sind die Position und Abmessung einzelner Fehler sowie eingeschränkt die Fehlerart als Resultat verfügbar.

Die Belehrungsphase für dieses Konzept muss bei einem hohen Automatisierungsgrad sehr aufwendig gestaltet werden. Zur Belehrung bzw. Einrichtung zählen die Auswahl der Kamera-Beleuchtungs-Anordnung, die Festlegung von Bildaufnahmepositionen und Regionenmasken, die Selektion der Texturmerkmale pro Region, die Parametrierung der Merkmalberechnung, die Templategenerierung sowie die Ermittlung von Schwellwerten für die Ergebnisauswertung. Die Belehrungsergebnisse werden in prüfobjektspezifischen Parameterrezepten zusammengestellt und abgelegt. Damit kann auch bei kurzen Umrüstphasen in der Fertigung eine schnelle Einrichtung des Inspektionssystems auf bekannte Prüfobjekte erfolgen. Belehrungen auf neue Prüfobjekte (neue Form, Material, Texturorientierung) sind nach Möglichkeit offline vorzunehmen, da sonst hohe Geschwindigkeitsvorgaben erfüllt werden müssen.

### **Auswahl von geeigneten Texturmerkmalen**

Die große Bandbreite an Texturarten und Fehlern erfordert eine große Palette von Merkmalen. Einschränkend wirkt sich hierbei das enge Zeitregime für die Inspektion aus. Wenig rechenintensive Texturmerkmale können durch lineare Filteroperationen gewon-

nen werden. Bei geeigneter Parametrierung dieser Filter und Organisation zu einer Filterbank lassen sich eine Vielzahl von Texturen beschreiben und enthaltene Fehler detektieren. Die Parametrierung kann mit systematischen Abstufungen (z.B. nach Frequenz, Orientierung) oder texturadaptiv erfolgen. Durch Nutzung von pyramidal zerlegten Quellbildern und Maskierungen für relevante Regionen wird die Bildverarbeitung beschleunigt, was auch die Berechnung größerer Merkmalsätze ermöglicht.



**Abbildung 4 Bild-Bild-Vergleich von Merkmalsbildern eines Gutmusters (grün hinterlegt) und eines fehlerhaften Prüflings (rot hinterlegt); Merkmale: a.) adaptierter Bandpass, b.) adaptierter Texturfilter, c.) Energiemaß aus NGLD-Matrix, d.) lokale Varianz**

Zur phaseninvarianten Merkmalsgewinnung bei periodischen Texturen mit ausgeprägten Peaks im Fourierspektrum eignen sich richtungsselektive Bandpassfilter (z.B. Gaborfilter, siehe Abbildung 4a). Bei Adaption auf jeweils einen Peak lassen sich alle Texturstörungen (z.B. Falten, Fadenauslöser) detektieren, welche diesen Spektralanteil nicht oder nur geringfügig aufweisen. Zur Ausschöpfung des Potentials sollte die Parametrierung deshalb möglichst texturadaptiv, also durch Auswertung der Texturortsfrequenzen, erfolgen. Neben den Bandpässen sind auch adaptive Filter denkbar, welche zur Bildung der Filtermaske die komplette Strukturinformation aus beispielsweise lokalen Autokovarianzmatrizen nutzen. In Abbildung 4b sind exemplarisch die Merkmalsbilder für einen adaptierten Texturfilter nach [5] dargestellt. Weitere effiziente Möglichkeiten für die Texturbeschreibung von periodischen aber auch nicht periodischen Texturen bilden Merkmale der lokalen Grauwertstatistik. Neben statistischen Momenten erster Ordnung (Mit-

telwert, Varianz,...) ist die Grauwertstatistik zweiter Ordnung in Form von integralen Merkmalen der Co-occurrence-Matrizen bzw. deren Modifikationen (z.B. NGLD-Matrix [2]) nutzbar. Die erforderlichen Invarianzeigenschaften werden zu Lasten der Bildauflösung durch die Integration in lokalen Umgebungen erreicht. Beispielhafte Merkmalbilder zeigen die Abbildungen 4c und 4d. Der anschließende Bild-Bild-Vergleich lässt für alle Merkmale des betrachteten Fehlerbeispiels eine sichere Fehlerdetektion zu.

### **Zusammenfassung**

Die Inline-Oberflächeninspektion von freigeformten, texturierten Bauteilen für die Kfz-Innenverkleidung ist in jeder Hinsicht eine anspruchsvolle Bildverarbeitungsaufgabe. Sowohl Komplexität und Vielfältigkeit der Oberflächentexturen als auch die bestehenden Randbedingungen im Fertigungsprozess bilden hohe Anforderungen für die Problemlösung. Der vorgestellte Lösungsansatz für die Bildanalyse basiert auf dem Bild-Bild-Vergleich von Texturmerkmalbildern. Als Texturmerkmale eignen sich vorrangig die Ergebnisse schneller Texturfilteroperationen und die integralen Merkmale der lokalen Grauwertstatistik erster und höherer Ordnung. Angesichts der großen Bandbreite von Texturen und Fehlern lässt sich kein allgemein nutzbarer Merkmalsatz benennen. Vielmehr muss für jede Bauteilform und Oberflächentextur ein eigenes Rezept erstellt werden, welches in einem aufwendigen Belehrungsprozess mit Adaption der Verfahrensparameter an Textur und potentielle Fehler gewonnen wird.

Die bisherigen Untersuchungen zum Lösungsansatz stimmen positiv, zeigen aber auch einen immensen Entwicklungsbedarf auf. Die Umsetzung des vorgestellten Bildanalysekonzepts sowie die Entwicklung, Erprobung und Evaluierung der erforderlichen Algorithmen sind Gegenstand der aktuellen Projektbearbeitung.

#### **Literatur:**

- [1] Franke K.-H.: Erfassung und Verarbeitung von 3D-Daten, Schriftenreihe des ZBS e.V., ISSN 1432-3346, Ilmenau, 2004
- [2] Franke K.-H.: Bildverarbeitung und Mustererkennung, Schriftenreihe des ZBS e.V., ISSN 1432-3346, Ilmenau, 2004
- [3] Franke K.-H., Lucht C., Nickolay B., Nowack C., Rösel G.-S.: Neue Bildverarbeitungstechnologien für die automatisierte optische Kontrolle strukturierter Oberflächen in der Produktion, Forschungskuratorium Maschinenbau e.V., Heft 250, 2000
- [4] Franke K.-H., Kempe H., Kollhoff D., Wienecke J.: Merkmalbasierte Fehlerdetektion und -klassifikation bei der Inspektion von strukturierten Wafern, Proceedings 40. Int. Scientific Colloquium, TU Ilmenau, 1995, Seiten 642-647
- [5] Poschmann R.: Untersuchung eines Basisalgorithmus der statistischen Texturanalyse, Dissertation, TU Ilmenau, 1992

#### **Autoren:**

Dipl.-Ing. Carsten Lucht, Dipl.-Ing. Frank Gassmann, Dr.-Ing. Rainer Jahn  
Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V./(ZBS e.V.), Gustav-Kirchhoff-Str. 5  
98693, Ilmenau, Germany  
Phone: +49 3677 2010 303  
Fax: +49 3677 2010 302  
E-mail: [carsten.lucht@zbs-ilmenau.de](mailto:carsten.lucht@zbs-ilmenau.de) / [frank.gassmann@zbs-ilmenau.de](mailto:frank.gassmann@zbs-ilmenau.de) / [rainer.jahn@zbs-ilmenau.de](mailto:rainer.jahn@zbs-ilmenau.de)